

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560978

研究課題名(和文)造船における非可展プレス成形技術の研究

研究課題名(英文)On Press Working Process for Undevelopable Sheet Metal Forming in Shipbuilding

研究代表者

松尾 宏平(MATSUO, KOHEI)

独立行政法人海上技術安全研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：00399528

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：非可展面(皿形や鞍型の曲面)を含む、任意の曲面について、特殊なプレスヘッドを用いず、単純なプレス(例：直線状プレス)を組み合わせるだけで曲面成形できるプレス方案について科学的解明を行った。曲面の幾何学的解析と固有歪法を応用する弾塑性学的解析を組み合わせ、任意の曲面について「非可展リアルプレス線」を出力する方案を構築し、それを実際の造船外板に適用した。これらの手法は、本研究で併せて開発した造船用プレスシミュレータで計算実験され、その妥当性が確認された。

研究成果の概要(英文)：This study intends to clarify a press working procedure to form not only a developable surface but also an un-developable surface by combining simple press work processes (e.g., a straight press type) rather than preparing special press heads. The press work procedure is developed to shape arbitrary un-developable surface by introducing geometrical analysis and elasto-plastic analysis, and the system guides workers in a factory where and how much they should do press work to get the objective surface. The method was verified with our simulation tool which was also developed in this study to replicate practical press work in shipyards.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：成形技術 造船 曲面幾何 プレス 固有歪

1. 研究開始当初の背景

船体の曲り外板は、まず条押しプレス機（棒状のプレス歯によって線状に曲りをつけるプレス機）等でラフな曲りをつけ、次にガス加熱で形状調整し、目的形状を成形するのが一般的である。ここで、船首・船尾部の曲面外板は曲面幾何の分類で非可展面に属する。非可展面の成形には面外曲りに加え、面内伸縮が必須であるが、現在の方法ではプレスで面外曲げ、ガス加熱による熱収縮で面内伸縮（特に縮み）を与えていると解釈できる。しかし、ガス加熱作業は、変形のコントロールが難しく、また、厚い板ほど変形の応答が鈍く、膨大な工数と熟練の技が必要である。

一方、プレス加工によっても、面内の伸縮をつけることができる。鋼板を圧縮すると板厚に垂直方向に伸びが生じる。また、複数のプレスを異なる角度で施工（曲りプレス、ハの字プレス）すると非可展面が成形できる。深い皿形状の非可展面を国内の曲げ加工専門業者が短い条押しプレスのみで施工した事例があるが、このような条押しプレスのみによる非可展の曲面成形（「非可展プレス」と呼称する）は高度な特殊技能であり、施工した当の本人も未だに試行錯誤の段階で成形プロセスを明確化できていないとのことである。

本研究の申請者らは、曲率線という曲面の曲りの最大方向・最小方向を結んだ曲面上曲線を用いることで、非可展面の幾何学的な成形プロセスを解明してきた。ここでは非可展面の面外曲りと面内伸縮を曲率線方向によって完全に分離でき、これによって現在のプレス（面外曲り）+ガス加熱（面内伸縮）による曲面成形の定量化を実現した。幾何学的な成形プロセスが判明しており、他方でプレス加工による変形要素さえ把握できれば、これを発展させてプレスのみによる曲面成形も可能ではないかと思ったのが本研究に至った経緯である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、プレスによる非可展変形の解明及び板全体を成形するためのプレス施工手順の考案である。非可展面を成形するためのプレス方案を解明し、最終的には、任意の目的形状を得るため、どこをどうプレスするか施工手順の出力を目指す。

3. 研究の方法

本研究は、平成23年度～25年度の3年間で実施した。

まず、プレスによる非可展面成形作業の実態調査として、プレス加工の専門業者を訪問し、プレス加工の実態調査を行った。調査対象は、厚板の非可展プレス加工を実施できる業者に加え、薄板の板金加工業者なども対象とした。調査は目的曲面を得るためのプレス（板金の場合叩く）工程を追っていき、プレ

ス工程と曲面の幾何学的成形上の因果関係を把握した。この調査・分析で、面外曲げと面内伸縮を同時につけるプレス加工独特の曲面成形プロセスを合理的に説明し明文化している（技能の形式知化）。

次に、プレスによる非可展変形の解明に取り組んだ。前述の曲面成形プロセスを定量的に解釈するため、その都度のプレスでどのような変形（面外曲げ、面内伸縮）が起きているか、変形作用を定量的に把握した。典型的なプレス加工における変形量を解析及び実験から求めている。ここで、解析のために有限要素弾塑性解析に基づく造船用プレスシミュレータを開発している。

最後に、板全体の成形のためのプレス施工手順の考案を行った。非可展プレス方案出力の全体フローとしては、まず、目的形状が与えられると、その展開図上に幾何学的考察からプレス位置となるプレス線を指定する。次に、固有歪法を応用し、目的形状を得るために指定したプレス線にどのような変形要素を付与すればよいかを計算する。最後に、プレスデータベースから必要な変形要素を与えるプレス型とプレス荷重を選択し、非可展プレス方案とするものである。この手法の妥当性を検討するため、実際の造船外板に対して非可展プレス方案を出力し、プレスシミュレータによる計算実験を実施した。

4. 研究成果

非可展プレスに対し、プレスによる曲りと伸びの量を定量化し、一方で、目的形状を得るのに、どこにどのような変形要素を与えればよいか分かれば、その対応を取ることで非可展面を得られるのではないかと考え、非可展のプレス施工方案の出力について研究を行った。

（1）非可展プレス方案出力の全体フロー

図1に本研究で考案した非可展プレス方案出力の全体フローを示す。まず、（I）目的形状が与えられると、（II）その展開図上にプレス位置となるプレス線を指定する。次に、（III）固有歪法を応用し、目的形状を得るために指定したプレス線にどのような変形要素を付与すればよいかを計算する。（IV）最後に、プレスデータベースから必要な変形要素を与えるプレス型とプレス荷重を選択し、非可展プレス方案とする。

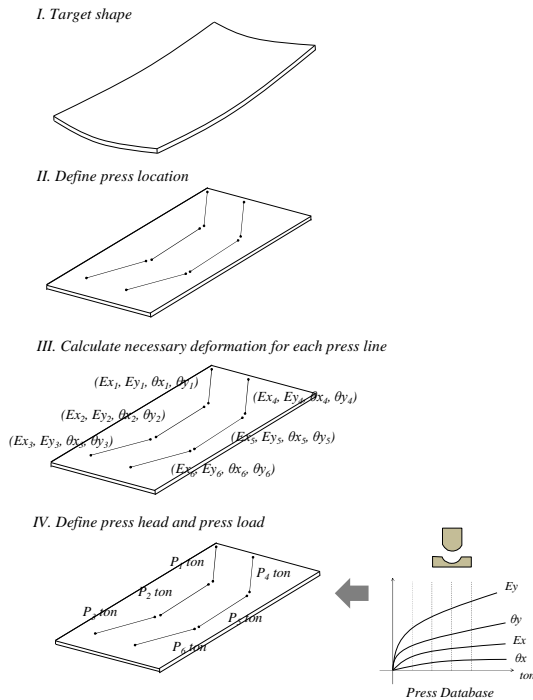


図1 非可展プレス方案の出力フロー

(2) 目的形状に対する変形要素の算定

プレスで与えるべき変形要素は、熱弾塑性解析で用いられる固有歪法を応用し、曲面の幾何形状だけでなく、面の弾塑性の影響を加味して求める。具体的には、まず、鋼板上にプレス線を与え、このプレス線位置に任意の固有歪を付与して、得られる変形形状が目的形状に一致するまで任意の固有歪を修正し、最終的な固有歪を求めるものである。プレス線に対する固有歪として、本研究では、(縦曲り x 、横曲り y 、縦伸縮 x 、横伸縮 y) の4要素を考慮する。

ここで注意すべきは、プレス線の位置を事前に指定する必要があることである。どのようなプレス線を与えても計算上は固有歪が求められるが、それが適切であるとは限らない。この問題に関して本研究では、海技研で別途開発したプレス施工支援システムが出力するプレス線をプレス位置として利用する。プレス施工支援システムは曲面の幾何学特性から最適プレス位置を決定するもので、出力されるプレス位置には幾何学的な根拠づけがされており、適切なプレス位置が出力されるものとする。

(3) プレスによる曲りと伸びの定量化

(2)で、各プレス線に必要な変形要素(縦曲り x 、横曲り y 、縦伸縮 x 、横伸縮 y) が求められる。各プレス線にこれらの変形要素を与えるプレス施工を行えば、プレス加工によって非可展面を含む目的曲面を得られる。

本研究では、縦曲り、横曲り、縦伸縮、横伸縮を効果的に与える新型プレス型を考案している。このプレス型は、上型が長さ方向に対してもRを持ったもので、これによって

曲げだけでなく、板に伸びの成分を与えることができる。このプレス型による4つの変形要素それぞれについて、プレス荷重 - 変形要素のプレスデータベースを準備し、外板に与える必要変形要素に応じてプレス荷重を決定すれば、最終的な非可展プレス方案(プレス型、プレス位置、プレス荷重)が定まる。なお、(2)で求められる必要変形要素と、プレスデータベースによる変形要素について、変形要素の4成分すべてを一致できるとは限らない。このような場合、特定の成分を合わせるなど、何らかのルーチンを導入してプレス型・プレス荷重を決定するが、これが最終的にどれほど目的形状とのずれを生じることになるかは今後、検証していく必要がある。

(4) 非可展プレスの実証モデル

提案する方法に基づき、実際に簡易的なモデルを用いて非可展プレスを行い、プレス加工のみで目的の非可展面が得られるかを検証した。

図3は、本研究で提案した新型プレス型で直方形の板をプレスし、非可展面の成形を行った結果を示している。提案した方法で求められたプレス方案(図2)に対し、目的形状(F図3上)とプレス結果(図3下)を示したものである。なお、プレス結果は、本研究で開発した造船用3次元弾塑性プレスシミュレータで求めている。これによると、考案した新型プレス型と非可展プレス方案によって、非可展面についても目的形状を精度よくアプローチできることが確認できる。

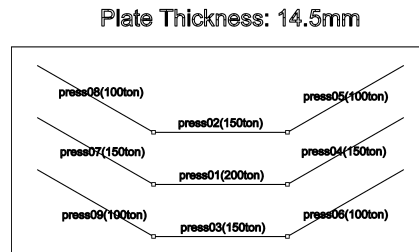


図2 非可展プレス方案

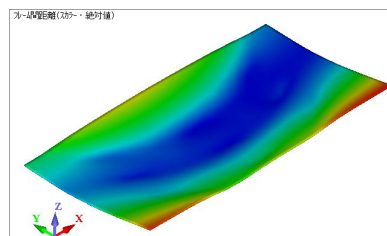
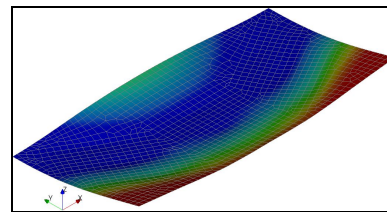


図3 計算実験による比較 (上: 目的曲面、下: プレス形状)

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

Kohei Matsuo, Shuhei Fujimoto, Michio Shimada, Norito Nakagaki, Akiyoshi Sugawara, Development and Practical Introduction of a Support System for Cold Bending Work in a Shipyard, Practical Design of Ships and Other Floating Structures, 査読有, Vol.1, 2013, pp.1-5.

〔学会発表〕(計3件)

藤本修平、松尾宏平、島田道男、曲面幾何に基づくプレス作業指示手法の開発、平成 24 年日本船舶海洋工学会春季講演会、査読無、2012.

松尾宏平、藤本修平、プレスによる造船用鋼板の非可展面成形技術開発の取り組みについて、平成 25 年日本機械学会生産システム部門研究発表講演会、査読無、2013.

松尾宏平、非可展面のプレス加工成形に関する取り組みについて、平成 26 年日本船舶海洋工学会春季講演会、査読無、2014.

6. 研究組織

(1)研究代表者

松尾宏平 (MATSUO, Kohei)

独立行政法人海上技術安全研究所・主任研究員

研究者番号：00399528

(2)研究分担者

藤本修平 (FUJIMOTO, Shuhei)

独立行政法人海上技術安全研究所・研究員

研究者番号：80586686